

**BEST AVAILABLE COPY**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **59197520 A**(43) Date of publication of application: **09.11.84**

(51) Int. Cl.

C21D 8/12
// C22C 38/02
H01F 1/16(21) Application number: **58068346**(22) Date of filing: **20.04.83**(71) Applicant: **KAWASAKI STEEL CORP**(72) Inventor: **SATO KEIJI**
FUKUDA BUNJIRO
SHIMIZU HIROSHI
ITO ISAO**(54) MANUFACTURE OF SINGLE-ORIENTED
ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET HAVING
LOW IRON LOSS**

(57) Abstract:

PURPOSE: To obtain a single-oriented electromagnetic steel sheet of which iron loss is not determined even though high temperature stress-relieving annealing is processed, by inducing seams onto the steel sheet before the final finish annealing process of silicon steel hot-rolled sheet limiting Si content.

CONSTITUTION: The silicon steel hot-rolled sheet containing 4.5wt% max. Si is cold-rolled to final product sheet thickness putting intermediate annealing

between the cold rollings and final finish annealing is processed after decarborizing annealing. Seams are induced onto the steel sheet before this final finish annealing process. If possible, those seams should be 300 μ m max. in width, about 1.0 μ m max. in length and about 1mm in the gap of rolling direction in the direction almost at right angle to rolling direction, and they are given by means of the edge of knife, laser beam etc. By this method, the iron loss improved for annealing at a high temperature can be maintained and the single-oriented electromagnetic steel sheet having iron loss suitable for iron core material can be obtained.

COPYRIGHT: (C)1984,JPO&Japio

⑫ 特 許 公 報 (B 2) 平3-69968

⑬ Int. Cl. ⁹

C 21 D 8/12
H 01 F 1/16

識別記号

B
A

庁内整理番号

7047-4K
6781-5E

⑭ 公告 平成3年(1991)11月6日

発明の数 1 (全8頁)

⑮ 発明の名称 鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法

審 判 昭62-20180

⑯ 特 願 昭58-68346

⑰ 公 開 昭59-197520

⑱ 出 願 昭58(1983)4月20日

⑲ 昭59(1984)11月9日

⑳ 発 明 者 佐 藤 圭 司 千葉県千葉市川崎町1番地 川崎製鉄株式会社技術研究所内

㉑ 発 明 者 福 田 文 二 郎 千葉県千葉市川崎町1番地 川崎製鉄株式会社技術研究所内

㉒ 発 明 者 清 水 洋 千葉県千葉市川崎町1番地 川崎製鉄株式会社技術研究所内

㉓ 発 明 者 伊 藤 庸 千葉県千葉市川崎町1番地 川崎製鉄株式会社技術研究所内

㉔ 出 願 人 川崎製鉄株式会社 兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号

㉕ 代 理 人 弁理士 杉村 暁秀 外1名

審判の合議体 審判長 松浦 弘三 審判官 永田 雅博 審判官 沼沢 幸雄

㉖ 参考文 献 特開 昭50-137819 (J P, A)

1

2

㉗ 特許請求の範囲

1 Si4.5重量%以下を含むけい素鋼熱延板を1回または中間焼なましをはさむ2回以上の冷間圧延により最終製品板厚となし、脱炭焼なましのち最終仕上げ焼なましを行なう一方向性電磁鋼板の製造方法において、

最終仕上げ焼なまし工程の前に、鋼板の圧延方向とほぼ直角な方向に幅30 μ 以上300 μ 以下、深さ10 μ 以上70 μ 以下、圧延方向の間隔1mm以上の線状刻み目を鋼板表面に導入し最終仕上げ焼なまし時に鋼板の純化促進をはかる

ことを特徴とする鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法。

発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、一方向性電磁鋼板の性能、特に鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法に関するものである。

(従来の技術)

一方向性電磁鋼板は、主として変圧器その他の

電気機器の鉄心として用いられ、その磁気特性が良好であることが要求される。特に鉄心として使用した際のエネルギー損失、即ち鉄損が低いことが重要であり、近年のエネルギー事情の悪化からも鉄損の低い電磁鋼板に対する要求は一段と高まりつつある。

ところで方向性電磁鋼板の鉄損は、ヒステリシス損と渦電流損からなっており、ヒステリシス損は結晶方位、地鉄中の不純物や歪、あるいは鋼板表面性状により影響され、渦電流損は板厚、鋼板の電気抵抗、180°磁区幅等によって決まる。

そこで、結晶方位を(110)[001]方位により高度に揃えること、不純物を極力低減させること、板厚を薄くすること、Si含有量を上げそれにより鋼板の電気抵抗を増加させること、更には結晶粒の微細化をはかること、張力コーティングの開発により180°磁区を細分化すること等の努力の結果、低鉄損化が進んできた。

しかしながら、このような冶金学的な手法による鉄損の低減はもはやほぼ限界近くに達してい

3

て、 $W_{17/50}$ で、 $1.00W/kg$ 以下の鋼板を製造することは不可能であつた。ここで $W_{17/50}$ は磁束密度1.7T、周波数50Hzでの鉄損である。

したがってさらに鉄損の飛躍的な減少を達成するためには、冶金学的手法以外の手段を講ずる必要がある。

このような観点から近年、人工的に鉄損低減をはかる技術が種々試みられるようになってきた。

このような方法の一つとして特開昭49-96920号公報に提案されているような、鋼板表面を鏡面にする方法が知られているけれども、鋼板の絶縁などに問題を生じるため、実用化されていない。

また、特公昭50-35679号公報には、仕上焼なまし済二方向性鋼板の表面を、鋤いたりひつかいたりすることによつて鉄損を減少させる試みが開示されているが、この方法では鋤き疵やひつかき疵による絶縁被覆の劣化、疵の周辺に生ずるかえりによる占積率の劣化、磁歪の劣化などの問題があり、とくに鋼板を積層した際に単板での鉄損特性がそのまま生かされないという欠点をもつ。したがって積層して使用するトランスや巻鉄心に対しては実用上のメリットがなく、実際には使用されていない。

さらに別の方法として、特開昭53-137016号公報には仕上焼なまし後鋼板表面にボールペン状の小球により線状微小歪を導入する方法、特開昭55-18566号公報には仕上焼なまし後鋼板表面にレーザーを照射する方法、そして特開昭57-188310号公報には仕上焼なまし後鋼板表面に放電加工処理を施す方法がそれぞれ開示され、これらはいずれも仕上焼なまし後鋼板に機械的あるいは熱的に微小歪を導入することにより磁区の微細化をはかり、鉄損を減少させようとする基本構想を同じくしている。しかしながらこれらの方法には、その後高温での歪取り焼なましの如きが施されたときに、鉄損劣化を生じるという欠点があり、高温での歪取り焼なましを必要とする巻鉄心用材料としては実用上の効果が得られない。

一方特開昭50-137819号公報では、鋼板に二次再結晶阻止領域を形成させることにより、二次粒径を小さくし、鉄損を減少させることが提案されている。この方法は仕上焼なまし工程前の鋼板表面に3mm以下の幅の二次再結晶粒成長阻止領域と5mm以上の未処理領域とを交互に配列するもので

4

あり、処理手段として、段付ロール、ひつかき、ショットピーニングのような機械的手段、赤外線ランプ、レーザー、電子ビームによる熱的手段及び結晶成長抑制剤を塗布する化学的手段があげられている。このうちのまず機械的手段による場合は、二次再結晶成長阻止処理を常時均一に実施することが難しく細粒化しすぎたりする場合がある。また局部的熱処理や化学的手段による方法では出現した正常粒成長部が二次再結晶過程で多数残存し、かえつて鉄損劣化を招く場合があつた。このように、どの手段も安定した効果を得ることが難しいことから工業化には到っていない。

ところで一方向性電磁鋼板はSi4.5%以下を含むけい素鋼熱延板を素材として1回または中間焼なましをはさむ2回以上の冷間圧延により最終製品板厚となし、脱炭焼なましを施したのち、最終仕上焼なましを行うことにより製造されるのが通例である。

最終仕上焼なましは、鋼板に主としてMgOよりなる焼鈍分離剤を塗布し、コイル状にして約1200℃の水素雰囲気中で行われ、この最終仕上焼なましでは二次再結晶と鋼中の不純物の鈍化が行われる。

最終仕上焼なまし後、鋼板表面に残った未反応のMgOを除去してから、りん酸塩などの絶縁被膜処理が施され、この絶縁被膜処理では800℃程度に鋼板を加熱し、仕上焼なまし時のコイルセットを同時に除去する。

ここに最終仕上焼なまし時の不純物の除去つまり鈍化を促進させるためには雰囲気ガスの流通をできるだけ良くすることが必要であり、そのための方法としては例えば仕上焼なまし時のコイルの板の間に金属線や間隙材を挿入し、ルーズコイルとして焼鈍する方法や板間に紙テープ等の易燃性物質を挿入しておき、これを炉内で燃焼させて間隙を形成させ、雰囲気ガスの流通を良くする方法等があつた。しかしながら、これらの方法は間隙形成材を必要とすることや、取扱い上の不便さ等の理由により実際には用いられていない。

さらに別の方法として特公昭46-42703号公報に、仕上焼なまし時に水と水分を多量に保有した水酸化物スラリーを鋼板に塗布し、焼なましにあつて水酸化物の結合水を蒸発させてコイル鋼帯間に間隙を生ぜしめ、その間隙に焼鈍雰囲気ガス

をコイル端面から均一に圧入する方法が示されている。しかし通常、仕上焼なまし時における炉内の温度は全く均一ではなく、場所による違いやコイル内外で差があらわれ、したがってこの方法も期待した間隔が得られなかつたり、コイル内でも間隔が生じない部分ができるといったような欠点を有し実用化はされていない。

(発明が解決しようとする課題)

本発明は上に述べた最終仕上焼なまし時における雰囲気ガスのコイルの板の間での流通を改善する有効な手法により純化を促進し、これによつて従来の方法に伴われたような欠点なしに高温での歪採り焼なましが行われた場合でもそれによる鉄損の劣化のない、低鉄損一方向性電磁鋼板を製造することを目的とするものである。

(課題を解決するための手段)

本発明者らは上記目的を達成するため鋭意実験検討を重ねた結果、最終仕上焼なまし前に鋼板表面に線状刻み目を導入し、その状態で最終仕上焼なましを行うと鉄損が大幅に減少することを見出した。この線状刻み目の導入は占積率を劣化させないのはもとより、二次再結晶粒成長を阻止することもなくして常に安定に、歪取焼鈍による鉄損劣化のない低鉄損一方向性電磁鋼板を製造することが可能である。

本発明において重要な点は所定の範囲内の幅と深さを有する線状刻み目を導入した状態で最終仕上焼なましを施すことにより、それにより鋼板の純化が大幅に進むことにあると考えられる。

すなわち本発明はSi4.5重量%以下（以下単に%と略す）を含むけい素鋼熱延板を1回または中間焼なましをはさむ2回以上の冷間圧延により最*

*終製品板厚となし、脱炭焼なましののち最終仕上げ焼なましを行なう一方向性電磁鋼板の製造方法において、最終仕上焼なまし工程の前に、鋼板の圧延方向とほぼ直角な方向に幅30 μ 以上300 μ 以下、深さ10 μ 以上70 μ 以下、圧延方向の間隔1mm以上の線状刻み目を鋼板表面に導入し最終仕上げ焼なまし時に鋼板の純化促進をはかることを特徴とする鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法である。

(作用)

次に、本発明の基礎となつた実験結果について述べる。

実験にはC0.045%、Si3.3%、Mn0.07%、またインヒビターとしてSe0.02%、Sb0.025%を含む連続製造スラブから熱間圧延して一方向性電磁鋼板素材とし、2回冷間圧延法にて最終板厚0.30mmに冷間圧延した試料を用いた。それらの試料について

最終冷間圧延後(A)、

最終冷間圧延を経た最終脱炭焼なまし後(B)、

さらに最終冷間圧延、脱炭焼なましを経た最終仕上焼なまし後(C)

に、それぞれ幅100 μ 、深さ20 μ の線状刻み目を圧延方向とほぼ直角方向に5mm間隔で導入し、各供

試鋼板はさらに上記の順に、

脱炭焼なまし—仕上焼なまし—絶縁被膜処理、

仕上焼なまし—絶縁被膜処理、

絶縁被膜処理のみ

をそれぞれ施して製品とした。それらの磁気特性を、線状刻み目の導入をせずに同様な工程を経た場合(D)と比較して表1に鉄損、磁束密度の値を掲げた。

表

1

試料 記号	SST測定値(平均値)			エプスタイン測定値		
	鉄損 $W_{1.7/50}(W/kg)$	磁束密度 $B_{1.0}(T)$	(D)との鉄 損差 ΔW	鉄損 $W_{1.7/50}(W/kg)$	磁束密度 $B_{1.0}(T)$	(D)との鉄 損差 ΔW
(A)	0.95	1.91	-0.08	0.94	1.91	-0.09
(B)	0.97	1.91	-0.06	0.97	1.91	-0.06
(C)	1.01	1.90	-0.02	1.02	1.91	-0.01
(D)	1.03	1.92	-	1.03	1.92	-

この磁気特性は幅150mm、長さ280mmの試片をそ

のまま用いる単板試験器による成績 (SST測定

値)と、幅30mm、長さ280mmと試片を800℃×3時間歪取焼なまししたあとでのエプスタイン試験器による測定値(JIS C2550)の両方で対比してある。同表から試料(A)、(B)ではSST測定、エプスタイン測定共に試料(C)、(D)に比べて鉄損が少なくとも0.06~0.09W/kgのように、著しく向上していることがわたる。

この鉄損減少の理由は明確ではないが仕上焼なましに際して、鋼板表面に所定の幅と深さの線状刻み目が存在することにより雰囲気ガスが鋼板コイルの層間内部までよく浸透し、不純物の純化が促進されるためと考えられる。

次に上記試料(A)につき鋼板の圧延方向とほぼ直角な方向に5mm間隔で、脱炭焼なましに先立つて導入した線状刻み目の幅および深さが、製品の鉄損低減に及ぼす影響を調べてその結果を第1図に示した。図中●、①、④、①および×印で区別した鉄損低減高は、線状刻み目を導入した鋼板の鉄損値(W_{1750})と刻み目を導入しない鋼板のそれとの差で示した。この図から線状刻み目の幅30μ以上300μ以下、深さ10μ以上70μ以下の範囲内で常に安定して0.03W/kg以上の大きな鉄損改善が可能であることがわかる。

線状刻み目の幅30μ未満、深さ10μ未満の場合には、鋼板コイルの層間内部への雰囲気ガスの流通が不十分であり、一方幅300μ、深さ70μをそれぞれ超える場合は磁束密度の劣化を来し、鉄損改善効果が不安定になる。

次に前記試料(A)につき第2図で、線状刻み目を導入した間隔が鉄損低減高に及ぼす効果を示し、1mmより狭い導入間隔では鉄損はむしろ劣化する場合があり、間隔は1mm以上とすることが必要で、とくに5mm程度とするのが望ましい。

さらに第3図は同様に、試料(A)につき線状刻み目の導入方向と鉄損低減高の関係を示し、鉄損低減効果は線状刻み目の導入方向を圧延方向と直角な方向とした場合に最も大きく、圧延方向に近くなるにつれて小さくなる。したがって線状刻み目を導入する方向は圧延方向とほぼ直角な方向とすることが必要で、この圧延方向からの角度の好適範囲は60°~90°である。

なお刻み目は線状とすることが必要で、線状の形は直線、波線、破線、点線のいずれであつてもかまわない。

線状刻み目の導入方法としては、とくに鋭利なナイフの刃先、レーザービーム、放電加工、電子ビームなどがあげられるが、特に限定するまでもなく、要は所望の形状の線状刻み目を導入することができればよいのである。

本発明の範囲の寸法形状の線状刻み目を最終仕上焼なまし前に導入することによりはじめて、安定して著しい鉄損低減効果を得ることができ、本発明の方法によれば二次再結晶粒成長阻止は起こらない。

なおケガキ、レーザー、電子ビーム照射により二次再結晶粒成長阻止領域を形成して鉄損を下げることが特開昭50-137819号公報に開示されているが、本発明の線状刻み目と上掲特開昭50-137819号公報に開示されている二次再結晶粒成長阻止領域とは、寸法形状構成および効果が全く異なるものである。

すなわち上掲公報では、最終焼なまし前の鋼板に幅0.5~3mmにわたる広い領域に塑性歪、局部熱処理を与えて二次再結晶阻止領域を導入し、もつて結晶粒形をコントロールすることにより、鉄損を低減させることが述べられているのに反して、この発明における上記した線状刻み目の導入にあたっては、線状刻み目の位置と粒界は無関係であり、この点試料(A)について第4図a、bで線状刻み目の有無による比較を金属組織写真にて示したところから明らかなように線状刻み目は二次再結晶阻止の働きを持たず、結晶粒径のコントロールなどに寄与しないのである。

なお、第4図bにおける線状刻み目は幅100μ、深さ20μで圧延方向と直角な方向に5mm間隔で導入したものである。

即ち、二次再結晶粒成長を阻止させるためには機械的な歪の場合も、局部熱処理による正常粒成長導入の場合も、処理部の幅をある程度広くする必要があり、狭い場合には二次再結晶粒は阻止されることなくそのまま成長してしまう。また二次再結晶粒の阻止のために深さは必要とせず、むしろ鋼板表面は平坦でなければならない。

特開昭50-137819号公報第2図によれば上記処理部の幅は1.5mmがベストとなっており、それ以下では鉄損はむしろ劣化している。また電子ビームによる局部熱処理の場合も実施例によればビーム径はいずれも1~2mmとなつている。本発明方

法の線状刻み目は、幅狭く、深さが深いことが必要である。

本発明のごとく、幅30~300 μ 、深さ10~70 μ の比較的鋭利な線状刻み目を導入した場合には二次再結晶粒成長の阻止は起こらないうえに、最終仕上焼なまし時に鋼板の純化が著しく進むことが推測され、これにより低鉄損化が得られることが確認されている。

本発明の特徴とするところは、最終仕上焼なまし工程の前に鋼板に線状刻み目を導入する点にある。

刻み目を導入する時期については最終仕上焼なまし工程の前であればよく、導入した刻み目が最終仕上焼なまし時に残っていることが肝要であり、一方向性電磁鋼板の製造工程を考慮した場合、最終製品板厚となす冷延工程以降、最終仕上焼なまし工程の前で導入するのが望ましい。

すなわち最終仕上焼なまし時に刻み目が残っていればよいわけであるから、必ずしも最終冷間圧延後に刻み目を導入する必要はなく最終冷間圧延以前にこれを導入してもかわまない。但し、この*

*場合は最終冷間圧延の圧下率を刻み目がなくならない程度とすることが必要である。

さらに線状刻み目導入後、最終仕上焼なましを施した鋼板に、りん酸塩被膜等の絶縁被膜を施しても本発明の効果は失われない。

(実施例)

実施例 1

C0.043%、Si3.3%、Mn0.068%、インヒビターとしてSe0.018%、Sb0.024%を含む連続鑄造スラブから熱間圧延した一方向性電磁鋼板素材を、2回冷間圧延にて最終板厚0.30mmに冷間圧延した鋼板につきパルスレーザー照射条件を換えながら、圧延方向とはほぼ直角な方向に5mm間隔で表2に示した幅、深さの線状刻み目を導入した。これらの各鋼板E~Gは脱脂したのち、湿水素雰囲気中で820℃の一次再結晶焼なましをかねる脱炭焼なまし後、水素雰囲気中で1180℃×5時間の最終仕上焼なまし一絶縁被膜処理を施して製品とした場合の磁気特性を刻み目の導入をせずに同様な工程を経た場合(H)と比較して表2に鉄損、磁束密度の値を掲げた。

表

2

試料 記号	刻み目の形状		SST測定値(平均値)		エプスタイン測定値	
	幅 (μ)	深さ (μ)	鉄損 $W_{17/50}(W/kg)$	磁束密度 $B_{10}(T)$	鉄損 $W_{17/50}(W/kg)$	磁束密度 $B_{10}(T)$
(E)	75	15	0.96	1.91	0.95	1.91
(F)	130	21	0.97	1.90	0.97	1.90
(G)	200	16	1.01	1.90	1.01	1.90
(H)	刻み目なし		1.05	1.91	1.04	1.91

同表に示すように線状刻み目の導入により、0.03~0.09W/kgの鉄損低減効果が得られた。

実施例 2

次に実施例1と成分組成および製造履歴を同じくする冷延鋼板に圧延方向と直角な方向に刃物で機械的に幅85 μ 、深さ20 μ の線状刻み目を5mm間隔で導入した。この鋼板を脱脂したのち、湿水素雰囲気中で820℃の一次再結晶焼なましをかねる脱炭焼なまし後、水素雰囲気中で1180℃×5時間の最終仕上焼なましを行った結果、次のような特性を有する一方向性電磁鋼板が得られた。

$W_{17/50}=0.93W/kg$ $B_{10}=1.91T$ (SST値)

$W_{17/50}=0.93W/kg$ $B_{10}=1.91T$ (エプスタイン値)

35 この時線状刻み目を導入しない比較材の磁気特性は、

$W_{17/50}=1.03W/kg$ $B_{10}=1.92T$ (SST値)

$W_{17/50}=1.04W/kg$ $B_{10}=1.92T$ (エプスタイン値)

40 であり、線状刻み目の導入により約0.10W/kgの鉄損低減効果が得られた。

実施例 3

同様に実施例1と成分組成および製造履歴を同じくする冷延鋼板を脱脂したのち、湿水素雰囲気

11

中で820℃の一次再結晶焼なましをかねる脱炭焼なましを施した。

この鋼板に放電加工を施すことにより、圧延方向と直角な方向に幅80 μ 、深さ15 μ の線状刻み目を5mm間隔で導入した。しかるのち、水素雰囲気

5 中で1180℃×5時間の最終仕上焼なましを施した結果、次のような特性を有する一方向性電磁鋼板が得られた。

$W_{1.7/50}=0.96W/kg$ $B_{10}=1.90T$ (SST値)

$W_{1.7/50}=0.95W/kg$ $B_{10}=1.91T$ (エプスタイン 10 値)

この時、刻み目を導入しない比較材の磁気特性は、

$W_{1.7/50}=1.04W/kg$ $B_{10}=1.91T$ (SST値)

$W_{1.7/50}=1.03W/kg$ $B_{10}=1.91T$ (エプスタイン 15 値)

であり、線状刻み目の導入により0.08W/kgの鉄損低減効果が得られた。

(効果)

12

以上のように本発明で最終仕上焼なまし工程前に鋼板表面へ線状刻み目を導入することにより、 $W_{1.7/50}:1.00W/kg$ 以下という低鉄損一方向性電磁鋼板の製造が可能となる。また更に、この鉄損の改善は、高温での歪取焼なましを施したあとでも持続されて鉄損値に何らの変化はない。したがって巻鉄心用材料としても使用できるという大きなメリットを有する。

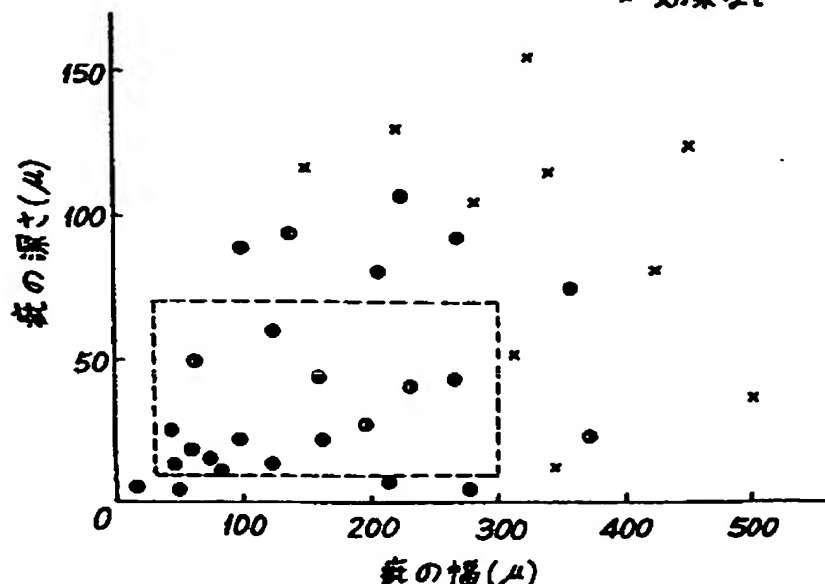
図面の簡単な説明

第1図はこの発明において導入した線状刻み目の形状と鉄損低減高の関係を示すグラフ、第2図は、線状刻み目の導入間隔と鉄損低減高の関係を示すグラフ、第3図は線状刻み目の導入方向と鉄損低減高の関係を示すグラフであり、第4図a、bは、線状刻み目を導入しない場合aに対し、本発明により線状刻み目(幅:100 μm 、深さ:20 μm 、間隔5mm)を導入した場合bは二次再結晶に影響を及ぼさないことを示す組織写真である。

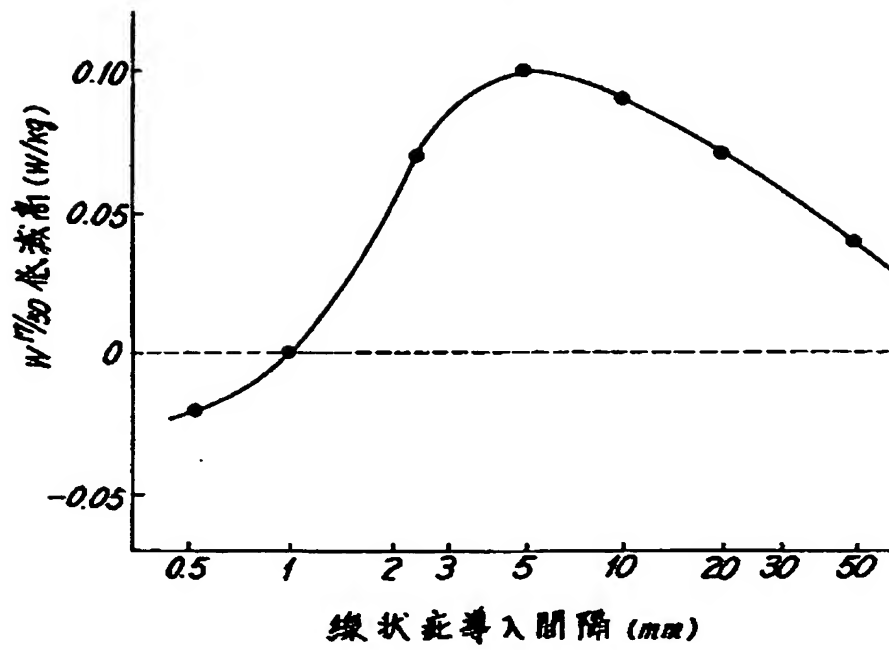
鉄損低減高
 $\Delta W_{1.7/50}(W/kg)$

- 0.10 ~
- 0.05 ~ 0.09
- 0.03 ~ 0.04
- 0.01 ~ 0.02
- × 効果なし

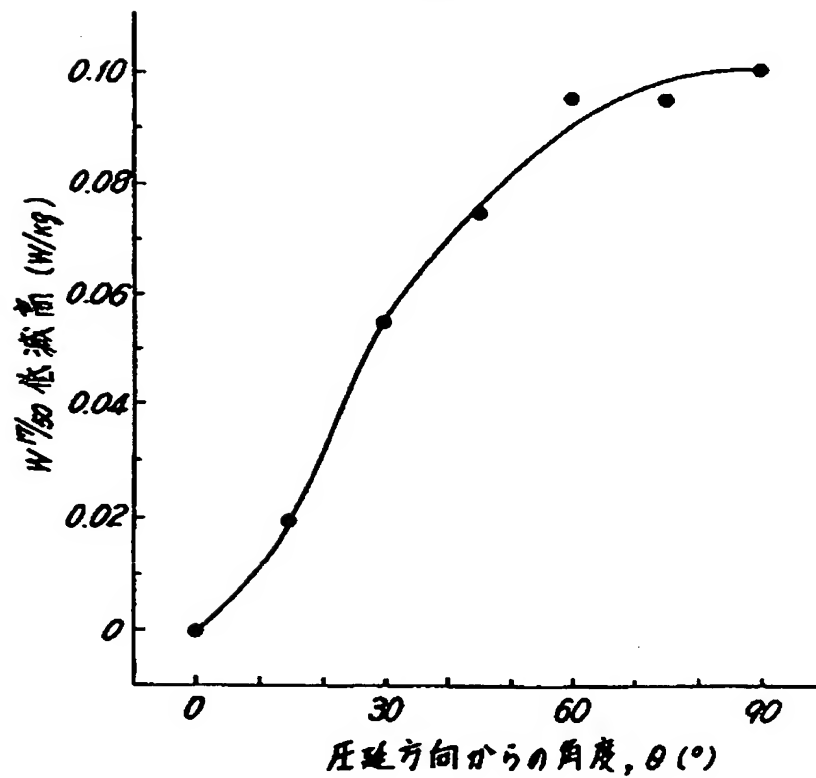
第1図



第2図



第3図



第 4 図

(a)



(b)



昭和58年特許願第68346号(特公平3-69968号●昭62-20180号、平3.11.6発行の特許公報3(4)-55〔821〕号掲載)については特許法第64条の規定による補正があつたので下記のとおり掲載する。

Int. Cl. ⁸	特許第1775317号
C 21 D 8/12	識別記号 庁内整理番号
H 01 F 1/16	7356-4K
	7371-5E

記

1 「特許請求の範囲」の項を「1 Si 4.5重量%以下を含むけい素鋼熱延板を1回または中間焼なましをはさむ2回以上の冷間圧延により最終製品板厚となし、脱炭焼なましののち最終仕上げ焼なましを行なう一方向性電磁鋼板の製造方法において、

脱炭焼なまし工程の前に、鋼板の圧延方向とほぼ直角な方向に幅30 μ 以上300 μ 以下、深さ10 μ 以上70 μ 以下、圧延方向の間隔1mm以上の線状刻み目を鋼板表面に導入し最終仕上げ焼なまし時に鋼板の純化促進をはかることを特徴とする鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法。」と補正する。

2 「発明の詳細な説明」の項を「(産業上の利用分野)

本発明は、一方向性電磁鋼板の性能、特に鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法に関するものである。(従来の技術)

一方向性電磁鋼板は、主として変圧器その他の電気機器の鉄心として用いられ、その磁気特性が良好であることが要求される。特に鉄心として使用した際のエネルギー損失、即ち鉄損が低いことが重要であり、近年のエネルギー事情の悪化からも鉄損の低い電磁鋼板に対する要求は一段と高まりつつある。

ところで方向性電磁鋼板の鉄損は、ヒステリシス損と渦電流損からなっており、ヒステリシス損は結晶方位、地鉄中の不純物や歪、あるいは鋼板表面性状により影響され、渦電流損は板厚、鋼板の電気抵抗、180°磁区幅等によつて決まる。

そこで、結晶方位を(110)〔001〕方位により高度に揃えること、不純物を極力低減させること、板厚を薄くすること、Si含有量を上げそれにより鋼板の電気抵抗を増加させること、更には結晶粒の微細化をはかること、張力コーティングの開発により180°磁区を細分化すること等の努力の結果、低鉄損化が進んできた。

しかしながら、このような冶金学的な手法による鉄損の低減はもはやほぼ限界近くに達していて、 $W_{17/18}$ で1.00W/kg以下の鋼板を製造することは不可能であつた。ここで $W_{17/18}$ は磁束密度1.7T、周波数50Hzでの鉄損である。

したがつてさらに鉄損の飛躍的な減少を達成するためには、冶金学的手法以外の手段を講ずる必要がある。

このような観点から近年、人工的に鉄損低減をはかる技術が種々試みられるようになってきた。

このような方法の一つとして特開昭49-96920号公報に提案されているような、鋼板表面を鏡面にする方法が知られているけれども、鋼板の絶縁などに問題を生じるため、実用化されていない。

また、特公昭50-35679号公報には、仕上げ焼なまし済二方向性鋼板の表面を、鋤いたりひつかいたりもすることによつて鉄損を減少させる試みが開示されているが、この方法では鋤き疵やひつかき疵による絶縁被膜の劣化、疵の周辺に生ずるかえりによる占積率の劣化、磁歪の劣化などの問題があり、とくに鋼板を積層した際に単板での鉄損特性がそのまま生かされないという欠点をもつ。したがつて積層して使用するトランスや巻鉄心に対しては実用上のメリットがなく、実際には使用されていない。

さらに別の方法として、特開昭53-137016号公報には仕上げ焼なまし後鋼板表面にボールペン状の小球により線状微小歪を導入する方法、特開昭55-18566号公報には仕上げ焼なまし後鋼板表面にレーザーを照射する方法、そして特開昭57-188810号公報には仕上げ焼なまし後鋼板表面に放電加工処理を施す方法がそれぞれ開示され、これらはいずれも仕上げ焼なまし後鋼板に機械的あるいは熱的に微

小歪を導入することにより磁区の微細化をはかり、鉄損を減少させようとする基本構想を同じくしている。しかしながらこれらの方法には、その後に高温での歪取り焼なましの如きが施されたときに、鉄損劣化を生じるという欠点があり、高温での歪取り焼なましを必要とする巻鉄心用材料としては実用上の効果を得られない。

一方特開昭50-137819号公報では、鋼板に二次再結晶阻止領域を形成させることにより、二次粒径を小さくし、鉄損を減少させることが提案されている。この方法は仕上焼なまし工程前の鋼板表面に3mm以下の幅の二次再結晶粒成長阻止処理領域と5mm以上の未処理領域とを交互に配列するものであり、処理手段として、段付ロール、ひつかき、ショットピーニングのような機械的手段、赤外線ランプ、レーザー、電子ビームによる熱的手段及び結晶成長抑制剤を塗布する化学的手段があげられている。このうちのまず機械的手段による場合は、二次再結晶成長阻止処理を常時均一に実施することが難しく細粒化しすぎたりする場合がある。また局部的熱処理や化学的手段による方法では出現した正常粒成長部が二次再結晶過程で多数残存し、かえって鉄損劣化を招く場合があった。このように、どの手段も安定した効果を得ることが難しいことから工業化には到っていない。

ところで方向性電磁鋼板はSi 4.5%以下を含むけい素鋼熱延板を素材として1回または中間焼なましをはさむ2回以上の冷間圧延により最終製品板厚となし、脱炭焼なましを施したのち、最終仕上焼なましを行うことにより製造されるのが通例である。

最終仕上焼なましは、鋼板に主としてMgOよりなる焼鈍分離剤を塗布し、コイル状にして約1200℃の水素雰囲気中で行われ、この最終仕上焼なましでは二次再結晶と鋼中の不純物の純化が行われる。

最終仕上焼なまし後、鋼板表面に残った未反応のMgOを除去してから、りん酸塩などの絶縁被膜処理が施され、この絶縁被膜処理では800℃程度に鋼板を加熱し、仕上焼なまし時のコイルセットを同時に除去する。

ここに最終仕上焼なまし時の不純物の除去つまり純化を促進させるためには雰囲気ガスの流通をできるだけ良くすることが必要であり、そのための方法として例えば仕上焼なまし時のコイルの板の間に金属線や間隙材を挿入し、ルーズコイルとして焼鈍する方法や板間に紙テープ等の易燃性物質を挿入しておき、これを炉内で燃焼させて間隙を形成させ、雰囲気ガスの流通を良くする方法等があった。しかしながら、これらの方法は間隙形成材を必要とすることや、取扱い上の不便さ等の理由により実際には用いられていない。

さらに別の方法として特公昭46-42703号公報に、仕上焼なまし時に水と水分を多量に保有した水酸化物スラリーを鋼板に塗布し、焼なましにあたって水酸化物の結合水を蒸発させてコイル鋼帯間に間隙を生ぜしめ、その間隙に焼鈍雰囲気ガスをコイル端面から均一に圧入する方法が示されている。しかし通常、仕上焼なまし時における炉内の温度は全く均一ではなく、場所による違いやコイル内外で差があらわれ、したがってこの方法も期待した間隙が得られなかったり、コイル内でも間隙が生じない部分ができるといったような欠点を有し実用化はされていない。

(発明が解決しようとする課題)

本発明は上に述べた最終仕上焼なまし時における雰囲気ガスのコイルの板の間での流通を改善する有効な手法により純化を促進し、これによつて従来の方法に伴われたような欠点なしに高温での歪取り焼なましが行われた場合でもそれによる鉄損の劣化のない、低鉄損方向性電磁鋼板を製造することを目的とするものである。

(課題を解決するための手段)

本発明者らは上記目的を達成するため鋭意実験検討を重ねた結果、脱炭焼なまし前に鋼板表面に線状刻み目を導入し、その状態で脱炭焼なまし、最終仕上焼なましを行うと鉄損が大幅に減少することを見出した。この線状刻み目の導入は占積率を劣化させないのとはもとより、二次再結晶粒成長を阻止することなくして常に安定に、歪取焼鈍による鉄損劣化のない低鉄損方向性電磁鋼板を製造することが可能である。

本発明において重要な点は所定の範囲内の幅と深さを有する線状刻み目を導入した状態で最終仕上焼なましを施すことにより、それにより鋼板の純化が大幅に進むことにあると考えられる。

すなわち本発明はSi 4.5重量%以下(以下単に%と略す)を含むけい素鋼熱延板を1回または中間

焼なましをはさむ2回以上の冷間圧延により最終製品板厚となし、脱炭焼なましののち最終仕上げ焼なましを行なう一方向性電磁鋼板の製造方法において、「脱炭焼なまし」工程の前に、鋼板の圧延方向とほぼ直角な方向に幅 30μ 以上 300μ 以下、深さ 10μ 以上 70μ 以下、圧延方向の間隔 1mm 以上の線状刻み目を鋼板表面に導入し最終仕上げ焼なまし時に鋼板の純化促進をはかることを特徴とする鉄損の低い一方向性電磁鋼板の製造方法である。

(作用)

次に、本発明の基礎となつた実験結果について述べる。

実験にはC 0.045%、Si 3.3%、Mn 0.07%、またインヒビターとしてSe 0.02%、Sb 0.025%を含む連続铸造スラブから熱間圧延して一方向性電磁鋼板素材とし、2回冷間圧延法にて最終板厚 0.30mm に冷間圧延した試料を用いた。それらの試料について

最終冷間圧延後 (A)、

最終冷間圧延を経た最終脱炭焼なまし後 (B)、

さらに最終冷間圧延、脱炭焼なましを経た最終仕上げ焼なまし後 (C)

に、それぞれ幅 100μ 、深さ 20μ の線状刻み目を圧延方向とほぼ直角方向に 5mm 間隔で導入し、各供試鋼板はさらに上記の順に、

脱炭焼なまし—仕上げ焼なまし—絶縁被膜処理、

仕上げ焼なまし—絶縁被膜処理、

絶縁被膜処理のみ

をそれぞれ施して製品とした。それらの磁気特性を、線状刻み目の導入をせずに同様な工程を経た場合 (D) と比較して表1に鉄損、磁束密度の値を掲げた。

表 1

試料記号	SST測定値 (平均値)			エプスタイン測定値		
	鉄 損 $W_{17/50}$ (W/kg)	磁束密度 B_{10} (T)	(D) との 鉄損差 ΔW	鉄 損 $W_{17/50}$ (W/kg)	磁束密度 B_{10} (T)	(D) との 鉄損差 ΔW
(A)	0.95	1.91	-0.08	0.94	1.91	-0.09
(B)	0.97	1.91	-0.06	0.97	1.91	-0.06
(C)	1.01	1.90	-0.02	1.02	1.91	-0.01
(D)	1.03	1.92	-	1.03	1.92	-

この磁気特性は幅 150mm 、長さ 280mm の試片をそのまま用いる単板試験器による成績 (SST測定値) と、幅 30mm 、長さ 280mm の試片を $800^\circ\text{C} \times 3$ 時間歪取焼なまししたあとでのエプスタイン試験器による測定値 (JIS C 2550) の両方で対比してある。「同表から明らかなように、試料 (A)、(B) では、SST測定、エプスタイン測定共に試料 (C)、(D) に比べて鉄損が大幅に改善され、特に最終冷間圧延後に刻み目を導入した試料 (A) では、従来法に従い得られた試料 (D) に較べて、 ΔW が $0.08 \sim 0.09 \text{ W/kg}$ と鉄損特性が格段に向上している。」

この鉄損減少の理由は明確ではないが仕上げ焼なましに際して、鋼板表面に所定の幅と深さの線状刻み目が存在することにより雰囲気ガスが鋼板コイルの層間内部までよく浸透し、不純物の純化が促進されるためと考えられる。

次に上記試料 (A) につき鋼板の圧延方向とほぼ直角な方向に 5mm 間隔で、脱炭焼なましに先立つて導入した線状刻み目の幅および深さが、製品の鉄損低減に及ぼす影響を調べてその結果を第1図に示した。図中●、①、④、⑦および×印で区別した鉄損低減率は、線状刻み目を導入した鋼板の鉄損値 ($W_{17/50}$) と刻み目を導入しない鋼板のそれとの差で示した。この図から線状刻み目の幅 30μ 以上 300μ 以下、深さ 10μ 以上 70μ 以下の範囲内で常に安定して 0.03 W/kg 以上の大きな鉄損改善が可能であるこ

とがわかる。

線状刻み目の幅 30μ 未満、深さ 10μ 未満の場合には、鋼板コイルの層間内部への雰囲気ガスの流通が不十分であり、一方幅 300μ 、深さ 70μ をそれぞれ超える場合は磁束密度の劣化を来し、鉄損改善効果が不安定になる。

次に前記試料(A)につき第2図で、線状刻み目を導入した間隔が鉄損低減高に及ぼす効果を示し、 1mm より狭い導入間隔では鉄損はむしろ劣化する場合があり、間隔は 1mm 以上とすることが必要で、とくに 5mm 程度とするのが望ましい。

さらに第3図は同様に、試料(A)につき線状刻み目の導入方向と鉄損低減高の関係を示し、鉄損低減効果は線状刻み目の導入方向を圧延方向と直角な方向とした場合に最も大きく、圧延方向に近くなるにつれて小さくなる。したがって線状刻み目を導入する方向は圧延方向とほぼ直角な方向とすることが必要で、この圧延方向からの角度の好適範囲は $60\sim 90^\circ$ である。

なお刻み目は線状とすることが必要で、線状の形は直線、波線、破線、点線のいずれであつてもかまわない。

線状刻み目の導入方法としては、とくに鋭利なナイフの刃先、レーザービーム、放電加工、電子ビームなどがあげられるが、特に限定するまでもなく、要は所望の形状の線状刻み目を導入することができればよいのである。

本発明の範囲の寸法形状の線状刻み目を「脱炭焼なまし」前に導入することによりはじめて、安定して著しい鉄損低減効果を得ることができ、本発明の方法によれば二次再結晶粒成長阻止は起こらない。

なおケガキ、レーザー、電子ビーム照射により二次再結晶粒成長阻止領域を形成して鉄損を下げる方法が特開昭50-137819号公報に開示されているが、本発明の線状刻み目と上掲特開昭50-137819号公報に開示されている二次再結晶粒成長阻止領域とは、寸法形状構成および効果が全く異なるものである。

すなわち上掲公報では、最終焼なまし前の鋼板に幅 $0.5\sim 3\text{mm}$ にわたる広い領域に塑性歪、局部熱処理を与えて二次再結晶阻止領域を導入し、もつて結晶粒形をコントロールすることにより、鉄損を低減させることが述べられているのに反して、この発明における上記した線状刻み目の導入にあつては、線状刻み目の位置と粒界は無関係であり、この点試料(A)について第4図a、bで線状刻み目の有無による比較を金属組織写真にて示したところから明らかなように線状刻み目は二次再結晶阻止の働きを持たず、結晶粒径のコントロールなどに寄与しないのである。

なお、第4図bにおける線状刻み目は幅 100μ 、深さ 20μ で圧延方向と直角な方向に 5mm 間隔で導入したものである。

即ち、二次再結晶粒成長を阻止させるためには機械的な歪の場合も、局部熱処理による正常粒成長導入の場合も、処理部の幅をある程度広くする必要があり、狭い場合には二次再結晶粒は阻止されることなくそのまま成長してしまう。また二次再結晶粒の阻止のために深さは必要とせず、むしろ鋼板表面は平坦でなければならない。

特開昭50-137819号公報第2図によれば上記処理部の幅は 1.5mm がベストとなつており、それ以下では鉄損はむしろ劣化している。また電子ビームによる局部熱処理の場合も実施例によればビーム径はいずれも $1\sim 2\text{mm}$ となつている。本発明方法の線状刻み目は、幅が狭く、深さが深いことが必要である。

本発明のごとく、幅 $30\sim 300\mu$ 、深さ $10\sim 70\mu$ の比較的鋭利な線状刻み目を導入した場合には二次再結晶粒成長の阻止は起こらないうえに、最終仕上げ焼なまし時に鋼板の純化が著しく進むことが推測され、これにより低鉄損化が得られることが確認されている。

本発明の特徴とするところは、「脱炭焼なまし」工程の前に鋼板に線状刻み目を導入する点にある。

刻み目を導入する時期については、前掲表1に示したとおり、最終仕上げ焼なまし工程の前であれば良好な鉄損低減効果が得られるわけであるが、とりわけ良好な鉄損低減効果が得られるのは脱炭焼なまし前であるので、本発明では、鋼板に刻み目を導入する時期につき、脱炭焼なまし前に制限したのである。

なお刻み目の導入に際しては、導入した刻み目が最終仕上げ焼なまし時に残っていることが肝要であり、一方向性電磁鋼板の製造工程を考慮した場合、最終製品板厚となす冷延工程後でかつ、脱炭焼なまし工程

前で導入するのが望ましい。

すなわち最終仕上焼なまし時に刻み目が残っていればよいわけであるから、必ずしも最終冷間圧延後に刻み目を導入する必要はなく最終冷間圧延以前にこれを導入してもかまわない。但し、この場合は最終冷間圧延の圧下率を刻み目がなくなる程度とすることが必要である。

さらに線状刻み目導入後、最終仕上焼なましを施した鋼板に、りん酸塩被膜等の絶縁被膜を施しても本発明の効果は失われない。

(実施例)

実施例 1

C 0.043%、Si 3.3%、Mn 0.068%、インヒビターとしてSe 0.018%、Sb 0.024%を含む連続鋳造スラブから熱間圧延した一方向性電磁鋼板素材を、2回冷間圧延にて最終板厚0.30mmに冷間圧延した鋼板につきパルスレーザー照射条件を換えながら、圧延方向とほぼ直角な方向に5mm間隔で表2に示した幅、深さの線状刻み目を導入した。これらの各鋼板E～Gは脱脂したのち、湿水素雰囲気中で820℃の一次再結晶焼なましをかねる脱炭焼なまし後、水素雰囲気中で1180℃×5時間の最終仕上焼なまし―絶縁被膜処理を施して製品とした場合の磁気特性を刻み目の導入をせずに同様な工程を経た場合(H)と比較して表2に鉄損、磁束密度の値を掲げた。

表 2

試料 記号	刻み目の形状		S S T 測定値 (平均値)		エプスタイン 測定値	
	幅 (μ)	深さ (μ)	鉄損 $W_{17/50}$ (W/kg)	磁束密度 B_{10} (T)	鉄損 $W_{17/60}$ (W/kg)	磁束密度 B_{10} (T)
(E)	75	15	0.96	1.91	0.95	1.91
(F)	130	21	0.97	1.90	0.97	1.90
(G)	200	16	1.01	1.90	1.01	1.90
(H)	刻み目なし		1.05	1.91	1.04	1.91

同表に示すように線状刻み目の導入により、0.03～0.09W/kgの鉄損低減効果が得られた。

実施例 2

次に実施例1と成分組成および製造履歴を同じくする冷延鋼板に圧延方向と直角な方向に刃物で機械的に幅85 μ 、深さ20 μ の線状刻み目を5mm間隔で導入した。この鋼板を脱脂したのち、湿水素雰囲気中で820℃の一次再結晶焼なましをかねる脱炭焼なまし後、水素雰囲気中で1180℃×5時間の最終仕上焼なましを行つた結果、次のような特性を有する一方向性電磁鋼板が得られた。

$$W_{17/60} = 0.93 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.91 \text{ T (SST値)}$$

$$W_{17/50} = 0.93 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.91 \text{ T (エプスタイン値)}$$

この時線状刻み目を導入しない比較材の磁気特性は、

$$W_{17/60} = 1.03 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.92 \text{ T (SST値)}$$

$$W_{17/50} = 1.04 \text{ W/kg} \quad B_{10} = 1.92 \text{ T (エプスタイン値)}$$

であり、線状刻み目の導入により約0.10W/kgの鉄損低減効果が得られた。

(効果)

以上のように本発明で「脱炭焼なまし」工程前に鋼板表面へ線状刻み目を導入することにより、 $W_{17/50}$: 1.00W/kg以下という低鉄損一方向性電磁鋼板の製造が可能となる。また更に、この鉄損の改善は、高温での歪取焼なましを施したあとでも持続されて鉄損値に何らの変化はない。したがって巻鉄心用材料としても使用できるという大きなメリットを有する。」と補正する。

3 「図面の簡単な説明」の項を「第1図はこの発明において導入した線状刻み目の形状と鉄損低減高の関係を示すグラフ、

第2図は、線状刻み目の導入間隔と鉄損低減高の関係を示すグラフ、

第3図は線状刻み目の導入方向と鉄損低減高の関係を示すグラフであり、

第4図a、bは、線状刻み目を導入しない場合aに対し、本発明により線状刻み目（幅：100 μ m、深さ：20 μ m、間隔5mm）を導入した場合bは二次再結晶に影響を及ぼさないことを示す組織写真である。」と補正する。

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images
problems checked, please do not report the
problems to the IFW Image Problem Mailbox**